

# 超大跨径钢管混凝土拱桥拱肋加工制造关键技术研究

王涛

(广西路桥工程集团有限公司, 广西南宁 530200)

**摘要** 在我国交通行业飞速发展的大背景下, 各类新型技术蓬勃涌现, 其中超大跨径钢管混凝土拱桥拱肋技术应运而生。基于此, 本文将通过真实案例, 详细介绍这一技术的施工流程和关键技术。在拱肋的制造过程中, 工匠们充分利用先进的工程技术和材料, 精心设计、切割、焊接, 确保拱肋的稳定性和结构强度。通过深入了解实际案例, 旨在对超大跨径钢管混凝土拱桥拱肋技术有更清晰的认识, 同时也能感受到我国在交通基础设施领域不断迈向创新与卓越的努力。

**关键词** 超大跨径钢管混凝土拱桥拱肋; 加工制造; 卷制成型; 管节焊接; 焊接返修

中图分类号: U445

文献标识码: A

文章编号: 2097-3365(2024)03-0050-03

超大跨径钢管混凝土拱桥拱肋作为新型施工技术, 在具体应用过程中会存在一定问题, 为了保证该技术的施工质量, 施工人员需要做好数据分析, 对工程进行全方位探究, 明确该工序的施工流程以及施工要点, 进而掌握该工序的加工制造关键技术, 提高该工序施工水平。

## 1 工程概况

沙尾左江特大桥主桥整体跨径360m, 计算跨径340m, 矢跨比为1/4.533, 拱轴系数 $m=1.55$ , 该工程为中承式提篮钢管混凝土拱桥。拱轴主要是采用悬链线, 两拱肋在竖直面内向桥轴线侧倾斜 $10^\circ$ , 形成提篮式。主要结构是采用钢管混凝土桁式结构, 整束挤压钢绞线吊索体系, 桥面主梁采用格构式钢-混凝土组合梁, 两岸拱座为重力式抗推力结构基础。在该工程中, 其主拱圈结构主要分为主拱拱肋、横向联系, 其中主拱拱肋宽度为3.2m, 拱脚截面径向高12m, 拱顶径向高7m, 主要分为32个节段开展施工, 最大节段重量138.4t, 而拱肋主要是采用Q345qC碳素钢, 通过变高度四管桁式截面完成施工。横向联系主要通过“X”型撑、“一”字型撑、“K”型撑完成施工, 其中“X”型撑主要是在桥面以上应用, “一”字型撑主要是在桥面以下拱肋上弦和拱肋下弦, “K”型撑主要是在拱肋下弦。

## 2 超大跨径钢管混凝土拱肋加工制造流程

### 2.1 制定施工计划

在本次工程中主要包括钢板下料、钢管卷制加工、节段大拼、防腐涂装等, 而各工序的施工时间以及要点都具有一定差异, 所以会根据各工序的特点, 结合

该工程的实际修建目标, 合理分配各工时时间, 并做好落实工作, 让每一位工作人员都能严格按照进度作业。而在材料计划过程中也会根据工程特点, 对加工材料的数量、材质、规格、重量进行标注, 进而保证各项材料均符合施工需求, 为后续施工奠定基础。该工程所涉及的材料较多, 如弦管、拱上立柱、接头、拱脚等, 这些材料性能都具有一定差异, 并且应用位置的不同, 其规格要求也不尽相同。所以, 在具体作业过程中, 会根据该工程的实际特点, 对各部位的材料需求进行分析, 确保材料的准确性和合理性, 避免在后续施工过程中因材料问题导致工程无法顺利开展, 影响工程进度与质量。该工程作为大型工程, 在施工过程中也会涉及相应的设备, 并且设备的种类多元化, 对型号要求也较为严格。为了确保整体施工的准确性, 会根据该工程的实际情况确定不同设备的型号并且标注相应数量, 让设备得到充分利用, 控制施工成本, 确保整体施工的准确性和合理性。最后, 劳动计划过程中也会根据该工程的实际情况, 安排相应的技术人员、安全人员、材料人员、实验人员以及总负责人, 并且明确各人员的责任以及义务。例如, 总负责人主要是负责工程的整体施工对各项组织活动进行协调, 而技术人员主要是进行技术指导, 做好技术交底工作, 安全人员主要是以安全为主, 对施工人员进行教育, 确保施工的安全性<sup>[1]</sup>。

### 2.2 明确施工方法

在该工程中, 技术参数主要分为主拱圈拱肋、主

拱圈横撑,其中主拱圈拱肋技术参数为主拱拱顶截面径向高 7m,拱脚截面径向高度 12m,肋宽 3.2m。每肋上弦、下弦均为两根  $\phi 1200\text{mm}$  钢管混凝土弦管,壁厚  $24\text{mm}\sim 32\text{mm}$ ,主拱通过缀管  $\phi 720\text{mm}$  和竖向两根腹杆  $\phi 610\text{mm}$  钢管连接主管而构成的截面,而主拱圈横撑肋技术参数为“X”型横撑采用  $\phi 900\times 18\text{mm}$ ;“K”型横撑直杆采用  $\phi 900\times 18\text{mm}$ ,斜杆采用  $\phi 720\times 16\text{mm}$ ;“一”字型横撑采用  $\phi 900\times 18\text{mm}$ 。主拱与桥面交叉处,肋间横撑兼做支撑桥面梁的横梁,采用  $\phi 950\times 20\text{mm}$ 。同时会根据该工程的特点,对其施工流程进行合理划分,首先会根据图纸进行材料编排,制定相应的施工工艺,明确检验规程,进行检验实验工作,做好前期准备工作。当前期准备工作完成以后就会对其进行技术交底,在此过程中,会对材料进行重新检验,确保材料的整体性能。其次,根据技术交底提供相应的评定资料,进行材料预处理,绘制施工详图,并且制作相应材料,如胎架。在此过程中,施工人员会审核图纸,确定图纸内容无误以后才会进行下料加工。在下料过程中会对其材料的性能进行抽样检查,开展测量工作,确保材料符合工程需求。在材料加工过程中,要对主要材料进行全方位的加工。材料加工完成以后进行半成品测量验收。如果验收不合格,则需要重新焊接并做好矫正工作,直到合格以后才能够开展下一道工序。同时,会制定总体大片拼接并对其进行验收,验收合格以后进行存放,确保整体加工的准确性和合理性,让材料符合施工需求,确保施工流程的精准性。最后,所有材料加工完成以后,就会将其运输到施工现场进行焊接与无损检测,检测合格以后就会进行下一道工序,进而完成整体的施工流程<sup>[2]</sup>。

### 2.3 做好安全措施

首先,在组织保证措施过程中遵循安全第一原则,建立安全领导小组,设置安全人员,并对各人员的责任进行全方位的划分。在本项目中主要是开展全员负责制,一旦出现安全问题,就会查处整个安全领导小组,进而提高安全人员的积极性和主动性。其次,在技术保证措施中主要包括危险源识别、机械作业安全技术措施、临时用电安全技术措施、高处作业安全技术措施、防火安全技术措施,从不同维度入手,确保整体施工的准确性和合理性,让其技术符合施工需求,减少危险因素出现的概率。最后,在文明施工与环境保护过程中,要遵循绿色施工、安全施工、文明施工等原则,对周围环境进行全方位的保护,避免在施工过程中对环境产生影响,导致周围环境质量下降,影响居民的正常生活<sup>[3]</sup>。

### 2.4 合理安排人员

该工程在具体施工过程中所涉及的人员较多,而为了让各人员明确自身的责任以及义务,在工程施工过程中会对人员进行合理配备,并做好分工工作。其中施工管理人员主要是由施工经验较为丰富、协调能力较强的人员担任,对施工现场进行全方位的管理与施工,并且做好安全技术交底工作,让施工人员明确施工工艺以及方式。而专职安全生产管理人员主要是对施工现场进行安全监督,做好指导工作,并记录安全检查数据,如果在检查过程中发现存在不符合安全规范施工的人员要进行教育<sup>[4]</sup>。在此过程中,还要设置电工,对施工现场的用电进行规范,进行电气操作与线路维护检查,确保用电的安全性。而特种管理人员主要是指特殊工种,如电焊工、修理工以及电工,在本工程中,特种人员主要有 31 人,其中电焊工有 30 人,主要负责拱肋焊接,而维修工与电工由一人承担,负责电气操作与线路维护,其余工作人员主要是以杂工为主,负责材料运输与现场清理。

## 3 超大跨径钢管混凝土拱桥拱肋加工制造关键技术

### 3.1 弦管节段划分及对接

弦管主要是由 32 个节段组成,根据结构特点将其划分为 4 个区,每个区又分为 8 个节段,分别为第一区、第二区、第三区、第四区。从设计角度来看,由于每个区域的结构特点和受力特性均有所不同,所以在弦管安装过程中要严格按照设计要求开展。弦管节段的对接主要是通过两个部分完成,第一部分是将两端进行对接,并保证在中心位置进行焊接。而第二部分则是将中间的两个节段进行连接,其中每一个节段都要采用对接焊进行连接。从该工程中来看,对弦管节段的对接要求为:一是要保证焊缝要有较好的焊接强度,并且焊缝能够承受一定的压力;二是要确保焊接过程中不会出现裂纹以及变形等现象;三是要保证焊接过程中不会出现焊缝脱落或者是开裂等现象。在该工程中,主要是通过以下两种方法进行对接:第一种是采用双幅对接焊技术完成。主要是通过两个端面进行对接,然后将焊缝进行焊接。当焊接完成之后,再对其进行焊缝检测,确保合格之后才能对其进行下一个区域的焊接。第二种是采用全焊接工艺技术完成,在此过程中,要保证接头位置处于同一平面内,保证整个对接焊缝不会出现任何的缺陷现象。

### 3.2 卷制成型

卷制成型是该工程中的关键,由于其空间狭窄,

拱肋截面为变高度四管桁式,在焊接过程中极易出现变形问题。施工人员会将拱肋组对时,与上、下两组对时的对称度进行控制,根据拱肋截面高度要求,进行拱肋纵向分段,根据分段后的高度数据进行拱肋的下料和组焊。并且在组焊之前,为了控制好焊接变形问题,在组对时就应该对拱肋下料和焊接的尺寸进行准确测量,根据测量数据来合理确定组焊顺序。在组焊过程中,主要是通过控制焊接变形和焊缝外观质量来保证拱肋组对质量,先采用四点对焊方法完成拱肋端部和中部的焊接,在此基础上进行了拱肋两端面组焊。施工人员严格按照要求开展施焊工作,根据施工的实际情况对焊缝尺寸进行调整,对于焊缝外观质量检验,要采用X射线探伤、超声波探伤等技术手段来保证焊缝的质量,尽量减少焊缝数量及焊道长度,施工完成以后会通过拱肋组对质量进行检测保证拱肋组对质量。

### 3.3 管节焊接

钢管拱肋制造时为了防止焊接过程中的变形,必须在制作时对焊缝进行检查,并且要控制焊缝的质量,保证焊缝组对质量。其中所选择的焊缝是双面自动埋弧焊,这种焊接方式主要是通过自动埋弧焊焊缝组对,同时在焊接过程中还需要采用激光测距仪测量管节端面和坡口角度。而管节的焊接顺序为先从焊口的内侧开始焊接,再进行外侧焊接;而在焊接过程中需要合理控制焊接速度和焊接方向,并且还需要调整焊接参数,从而保证焊缝的质量<sup>[5]</sup>。钢管拱肋制造过程中还应注意以下几个问题:一是钢管管口角度偏差控制在 $\pm 5^\circ$ 范围内;二是钢管拱肋内部存在一些残余应力;三是在拱肋横截面中存在一些应力集中的地方;四是拱肋竖向接缝存在应力集中现象。

### 3.4 焊接返修

对于焊接缺陷的返修主要是采取局部修补,若焊缝坡口角度不符合要求,可采用机械加工方法,修正坡口角度。若焊缝的外形尺寸、表面质量、咬边或未熔合等不符合要求时,则应进行返修。而对焊缝焊后的裂纹进行返修,应在裂纹处先作X射线检查,确定裂纹位置和大小后,再进行局部修补。气孔、夹渣等缺陷进行返修,应在焊接接头的母材表面清除焊渣及氧化皮后用机械方法去除缺陷。在焊接接头施工人员应做金相分析和硬度检查,及时进行金相分析。在焊接施工中,对焊缝的尺寸和形状有严格要求,应采取适当的措施控制焊接缺陷对结构性能的影响,必要时进行局部补焊。

### 3.5 焊接检验

在该工程中,其焊接检验的主要内容包括以下几

点:第一,焊缝外观检验。当焊缝尺寸公差为 $\pm 0.10\text{mm}$ 时,进行焊缝外观检查。第二,焊接接头内部探伤。由检测人员采用磁粉探伤、超声波探伤等方法,对焊接接头内部进行检验。第三,焊接接头力学性能检验。由检测人员采用拉伸、压缩、弯曲等力学性能试验,对焊接接头的力学性能进行检验。在该工程中,由检测人员采用金相显微镜进行检测,对焊缝的金相组织和焊缝金属的力学性能进行检验。在沙尾左江特大桥主桥拱肋结构中,钢管壁厚为 $24\text{mm}\sim 32\text{mm}$ ,而采用三片纵肋、三片横肋、四片纵肋的结构形式,其拱肋钢管截面面积最大达到了 $8100\text{mm}^2$ ,而根据计算可知,采用四管结构形式时,其拱肋节段的重量也在 $100\text{t}$ 左右,而考虑到现场作业安全,施工技术难度较大,因此拱肋节段的焊接均采用三管式结构形式。

### 3.6 节段拼装

在该工程中,节段拼装是整个施工的关键,同时也是施工技术难点。首先,在施工现场做好相应的准备工作,如搭建钢结构平台、做好材料堆放等。其次,在平台上进行钢管拱肋的加工,其中包括放样、焊接等,然后在加工完成后进行验收,并将其送至现场,保证焊接质量。最后,将焊缝打磨干净后,再对焊缝进行探伤检验,检测合格后开始进行拱肋防腐涂装、安装拱肋节段、横撑、扣索以及吊杆。

## 4 结语

超大跨径钢管混凝土拱桥拱肋对于我国交通行业发展有积极的促进作用,施工企业需要对其进行深入分析,掌握其关键技术,明确施工流程,根据不同工序的实际情况合理应用该技术,提高该技术的施工质量,进而保证我国桥梁建筑的稳定性和合理性,提高其经济效益与社会效益。

## 参考文献:

- [1] 刘家兴,黄树荣.560m大跨径钢管混凝土拱桥拱肋灌注技术及质量检测[J].公路,2023,68(09):223-228.
- [2] 何佳,冉舵兵,石亚兰,等.超大跨径钢管混凝土拱桥主拱线形控制误差分析[J].重庆建筑,2023,22(06):49-53.
- [3] 欧阳汕,孙镇国,魏海龙.大跨径钢管混凝土拱桥拱肋钢管制造线形的修正方法研究[J].公路交通科技,2023,40(04):128-135.
- [4] 张峰.大跨径钢管混凝土拱肋灌注次序及管内混凝土水化热研究[D].重庆:重庆交通大学,2020.
- [5] 郝聂冰,顾安邦.超大跨径钢管混凝土拱桥误差控制方法[J].科学技术与工程,2018,18(15):149-154.